

# EFFECTOS DEL HURACÁN *WILMA* AL ACUÍFERO DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO

• Eduardo Graniel-Castro\* • Jazmín Yam-Caamal •  
*Universidad Autónoma de Yucatán, México*

\*Autor de correspondencia

## Resumen

GRANIEL-CASTRO, E. & YAM-CAAMAL, Y. Efectos del huracán *Wilma* al acuífero de la península de Yucatán, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. V, núm. 3, mayo-junio de 2014, pp. 141-148.

Los cambios ambientales y climáticos en el mundo han incrementado el número de huracanes, como *Gilberto* en 1988, *Opal* y *Roxana* en 1995, *Isidore* en 2002, y *Emily* y *Wilma* en 2005. Estos fenómenos naturales han causado inundaciones, interrupción del servicio eléctrico, pérdida de cosechas, y daños en la infraestructura habitacional y carretera en el estado de Yucatán, México. En octubre de 2005, el huracán *Wilma* pasó por Yucatán con una precipitación de 314.3 mm, ocasionando que las cargas hidráulicas del acuífero ascendieran 1.5 m y la interfase salina fuera desplazada hacia abajo unos 9 m en los pozos (1B y 2C), regresando en enero a su posición anterior debido a la heterogeneidad del subsuelo cárstico. La dirección del flujo subterráneo fue de sureste a noroeste y no cambió por el huracán *Wilma*. Se presentó el efecto de dilución de los contaminantes existentes antes del huracán en la mayoría de los pozos, excepto el 2A, en el cual se incrementaron los nitratos debido a la materia orgánica acumulada por las inundaciones de la zona. En general, los huracanes en Yucatán resultan benéficos para el acuífero debido a la recarga de agua que diluye la contaminación existente, aunque no para la población, por los daños en las infraestructuras.

**Palabras clave:** dinámica, carst, interfase salina, huracán *Wilma*, Yucatán, calidad de agua.

## Introducción

La dinámica de los acuíferos costeros se ve influenciada por las precipitaciones extraordinarias provocadas por los huracanes, originando la variación de la interfase agua dulce-agua salada, por lo que conocer los efectos que causan al acuífero resulta muy importante, como en el litoral costero de Yucatán, México, el cual

## Abstract

GRANIEL-CASTRO, E. & YAM-CAAMAL, Y. *Effects of Hurricane Wilma on the Aquifer in the Yucatan Peninsula, Mexico*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*. Vol. V, No. 3, May-June, 2014, pp. 141-148.

*Environmental and climate changes worldwide have increased the number of hurricanes, for example, Gilberto in 1988, Opal and Roxana in 1995 and Isidore in 2002, and Emily and Wilma in 2005. These natural phenomena have caused floods, power outages, loss of crops and damages to housing and roads in the state of Yucatan, Mexico. In October 2005, hurricane Wilma passed through the Yucatan with 314.3 mm in precipitation, causing the hydraulic loads of the aquifer to increase 1.5 m, lowering the saline interface in wells 9 m (1B and 2C), which returned to their position in January due to the heterogeneity of the karstic subsoil. The direction of the groundwater flow was southeast to northwest and did not change as a result of hurricane Wilma. Pollutants existing before the hurricane were diluted in most of the wells, except 2A, in which nitrates increased due to organic matter accumulated from floods in the area. In general, hurricanes in the Yucatan are beneficial to the aquifer due to the recharge of water and dilution of existing pollutants, although they are not beneficial to the population because of damage to infrastructure.*

**Keywords:** *Dynamic, karstic, saline interface, hurricane Wilma, Yucatan, water quality.*

se encuentra en la trayectoria de los huracanes del Atlántico y del Caribe, como *Isidore* en 2002, y *Emily* y *Wilma* en 2005.

Las características cársticas del subsuelo y la topografía casi plana del terreno (SARH, 1989) ocasionan que la mayoría de las aguas pluviales se infiltren al acuífero, ocasionando que el nivel del agua se incremente, que la interfase salina se desplace a mayor profundidad y que

la calidad del agua subterránea cambie. Por lo anterior, resulta muy importante entender las variaciones verticales y espaciales de la interfase salina y de la calidad del agua subterránea debido al paso de los huracanes.

Durante el paso del huracán *Wilma* se presentó una precipitación extraordinaria de 200 mm en dos días, lo cual ocasionó que la zona costera oriente se inundara y algunos pozos presentaran artesianismo. La zona de estudio se encuentra en la franja costera noroeste entre San Felipe y El Cuyo del estado de Yucatán, cubriendo 20 km tierra adentro, y está formada por seis pozos de observación ubicados en dos transectos perpendiculares a la línea de costa (transecto 1: San Felipe-Panabá; Transecto 2: El Cuyo-Colonia Yucatán), ubicados a 5, 10 y 15 km de la línea de la costa, con profundidades de 20, 30 y 40 m, creciendo con su lejanía de la línea de costa (figura 1).

El clima en la zona costera presenta tres estaciones climáticas: lluvias (junio-octubre), secas (febrero-mayo) y nortes (noviembre-enero) (CNA, 1997). La precipitación promedio es de 1 058 mm y la temperatura promedio es de 26.6 °C (CNA, 2005).

El acuífero está constituido por calizas de moluscos, masivas, de color blanco a crema del pleistoceno-holoceno, cuyos afloramientos conforman una banda más o menos amplia a lo largo de la costa, muy sensible por su gran permeabilidad. Una franja relativamente amplia en la zona está formada por dunas de arena y suelo de caliza coquinífera; contiene suelo lacustre constituido por arenas, arcillas y lodos calcáreos; es algo impermeable (CNA, 1997).

Entre los transectos existen depresiones topográficas que muchas veces se encuentran 5 m abajo de la planicie debido a la serie de fallas y fracturas; en algunos sitios, el nivel estático llega a aflorar, formando lagunas localmente conocidas como "sabanitas" (Tinajero *et al.*, 1981; Back y Lesser, 1981).

La profundidad al nivel freático es de apenas unos metros y presenta cargas hidráulicas que varían entre 2 y 5.5 m, originando un gradiente hidráulico del orden de 0.50 m/km, debido al tipo de material y a las características físicas del terreno (IMTA, 2003; Vera, 2005; Carrillo-Cauich, 2006; Yam, 2006). El agua del acuífero es de tipo cálcica-bicarbonatada, con excepción del pozo 2A, que es un agua del tipo clorurada-

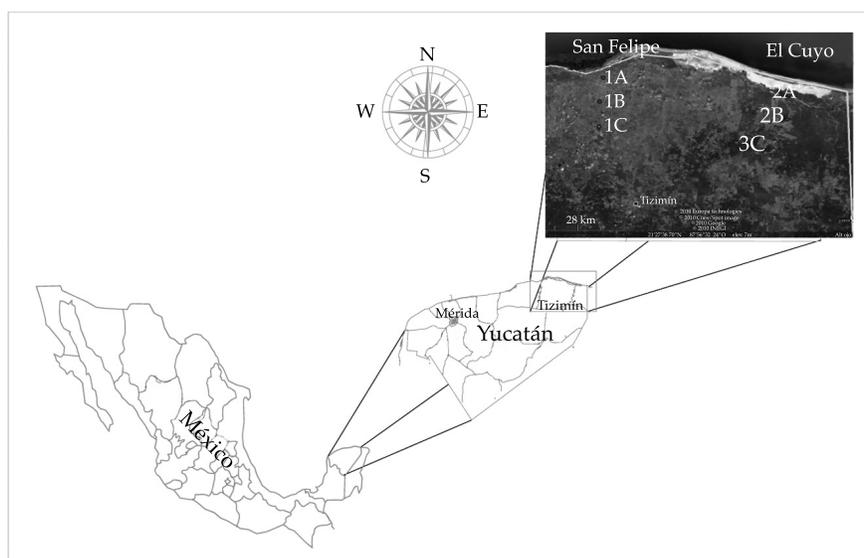


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

sódica (IMTA, 2003). El objetivo del estudio fue determinar los efectos en cantidad y calidad de agua que ocasionó al acuífero de Yucatán el paso del huracán *Wilma*.

## Metodología

El estudio se llevó a cabo de septiembre de 2005 a enero de 2006. Se realizaron tres campañas de campo cada dos meses. In situ se midió la profundidad al nivel estático, registros de calidad de agua (temperatura, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y potencial redox) y muestreo de agua. La profundidad de la recolección de las muestras de agua varió de acuerdo con la conductividad eléctrica, la cual debe ser menor a 2 500 mS/cm, debido a que empieza a presentar un sabor salado por la presencia de sales que pueden ocasionar problemas de salud. Las muestras de agua se analizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) de acuerdo con el "Métodos Standard" (APHA, 1992) y se determinó calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ), cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrógeno total kendal (NKT), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), nitrógeno orgánico ( $\text{N}_{\text{org}}$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ); previo al manejo de los resultados analíticos, se estimó el porcentaje de error mediante el cálculo de balance iónico. Para el análisis del comportamiento de la interfase salina se consideró a la conductividad eléctrica debido a que representa la habilidad del agua de transmitir corriente eléctrica y es directamente proporcional al contenido de sales en el agua (López y Mena, 1988).

## Resultados y discusión

La dirección del flujo de agua subterránea es de sureste a noroeste descargando el agua subterránea al mar y no presentó cambio de dirección por el huracán *Wilma* (figura 2); los gradientes hidráulicos variaron entre 0.11 y

0.32 m/km, y las cargas hidráulicas entre 1.65 y 6.69 m. En el pozo 1C se tuvo un incremento de la carga hidráulica de 0.50 msnm y en el pozo 2B de 1.5 msnm durante el huracán *Wilma*, regresando a su posición original en enero de 2006 (figura 3).

La temperatura, oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno no tuvieron cambios significantes debido al huracán y mostraron condiciones normales. Analizando la conductividad eléctrica, los pozos 1B y 2B contuvieron agua dulce y el pozo 2A tuvo agua salada en todo su espesor (figura 4).

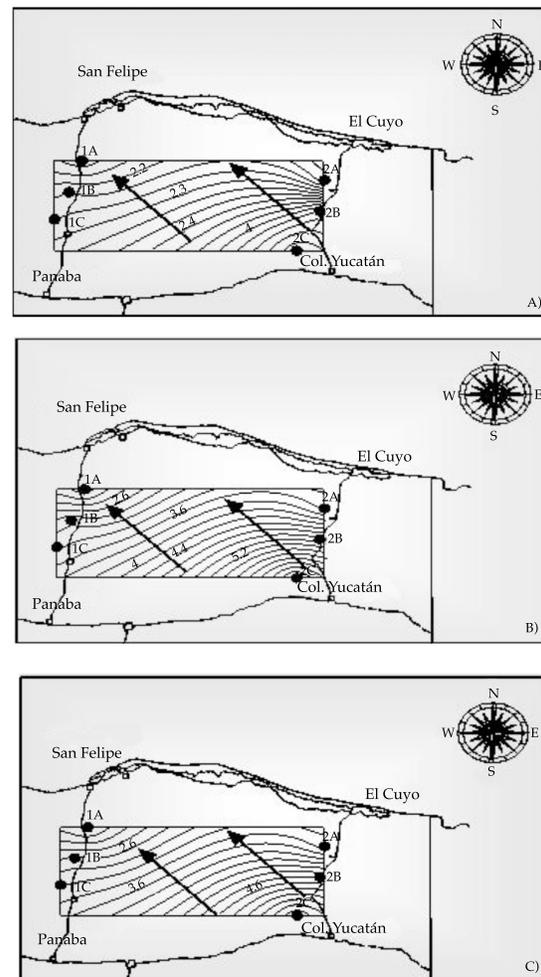


Figura 2. Dirección del flujo de agua subterránea: a) septiembre 2005, b) noviembre 2005 y c) enero 2006.

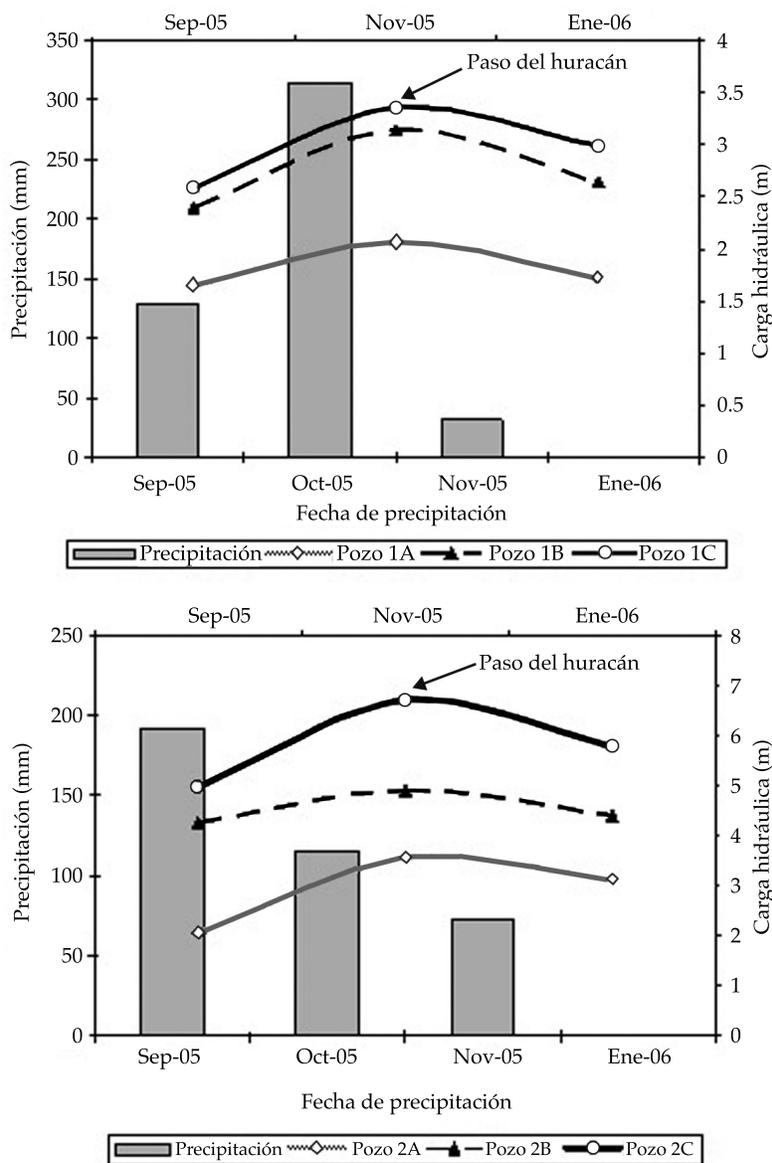


Figura 3. Variación de la carga hidráulica (m) y de la precipitación (mm).

En el pozo 1A, la interfase salina se inició a los 15 m de profundidad y en el pozo 1C a los 26 m de profundidad, presentando un desplazamiento hacia abajo de 1 m en noviembre de 2005 ocasionado por el incremento de la carga hidráulica (0.50 msnm). En el pozo 2C, en septiembre de 2005 y enero de 2006, el techo de la intrusión salina se localizó a los 30 m de profundidad y en noviembre a los 39 m de profundidad,

observándose un desplazamiento de 9 m de profundidad debido al incremento de la carga hidráulica (1.5 msnm).

De acuerdo con el potencial redox (Eh) (figura 5), los pozos 1B, 2A y 2C presentaron condiciones anaeróbicas después del huracán, con tendencia a mejorar su calidad con el paso del tiempo; los pozos 1A, 1C y 2B disminuyeron sus valores, aunque permanecieron en condiciones aeróbicas.

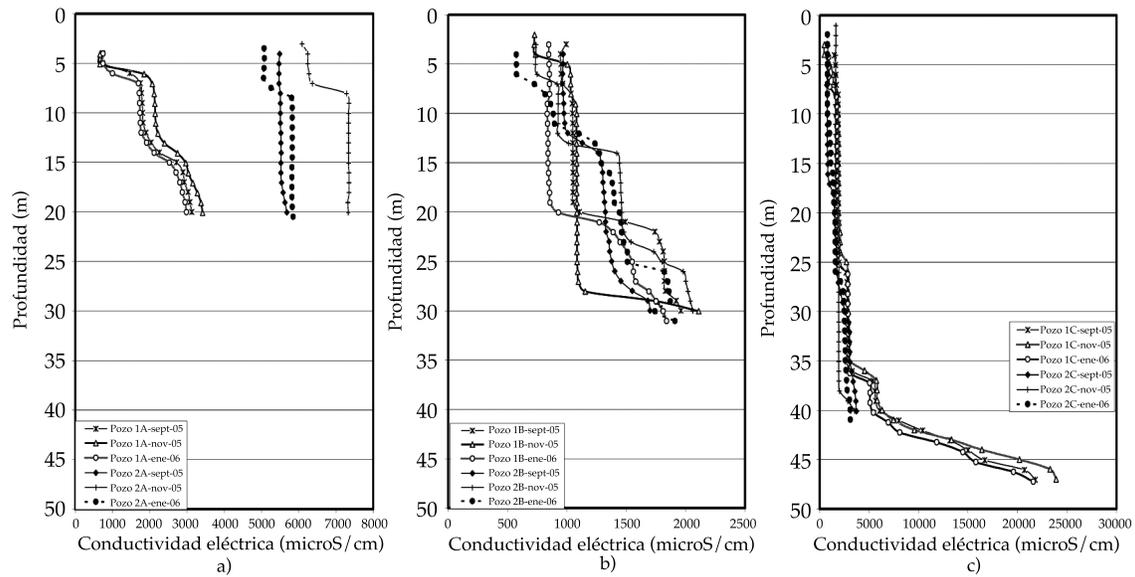


Figura 4. Perfiles de conductividad eléctrica: a) pozos 1A y 2A, b) 1B y 2B y c) 1C y 2C.

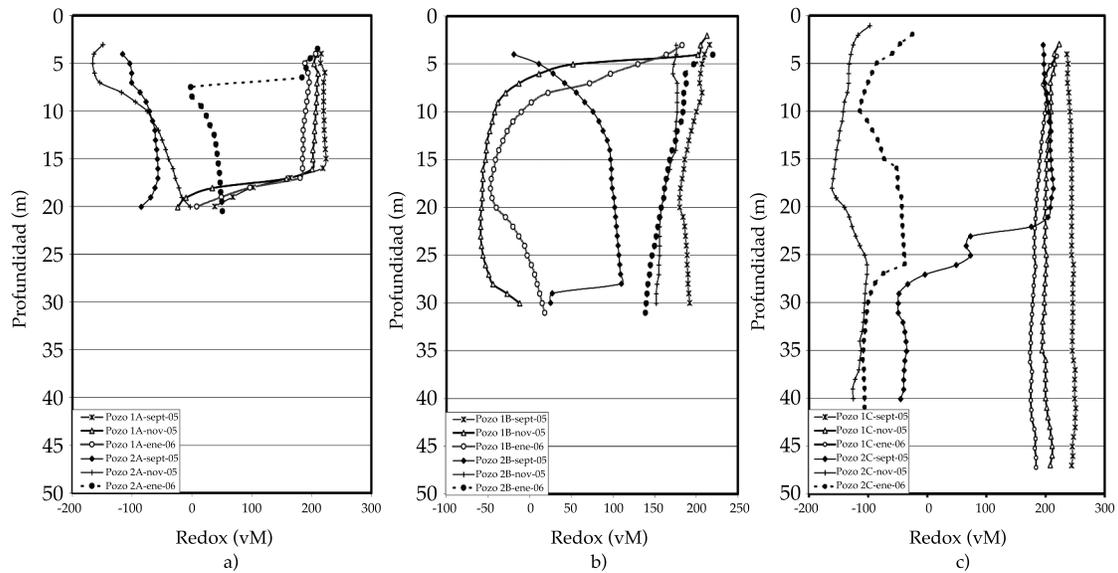


Figura 5. Perfiles de redox: a) pozos 1A y 2A, b) 1B y 2B y c) 1C y 2C.

Los resultados de los análisis de laboratorio tuvieron un error en el balance iónico menor al 10%. En el transecto 1, el Ca, Na, Cl, NO<sub>3</sub> y el HCO<sub>3</sub> disminuyeron después del huracán, y el Mg, K y SO<sub>4</sub> aumentaron debido al arrastre de

material de la superficie. En el transecto 2 se presentó un incremento de Ca, Mg, K, HCO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub> con el paso del huracán y se presentó una baja de Na, Cl y NO<sub>3</sub> debido al proceso de dilución (figura 6).

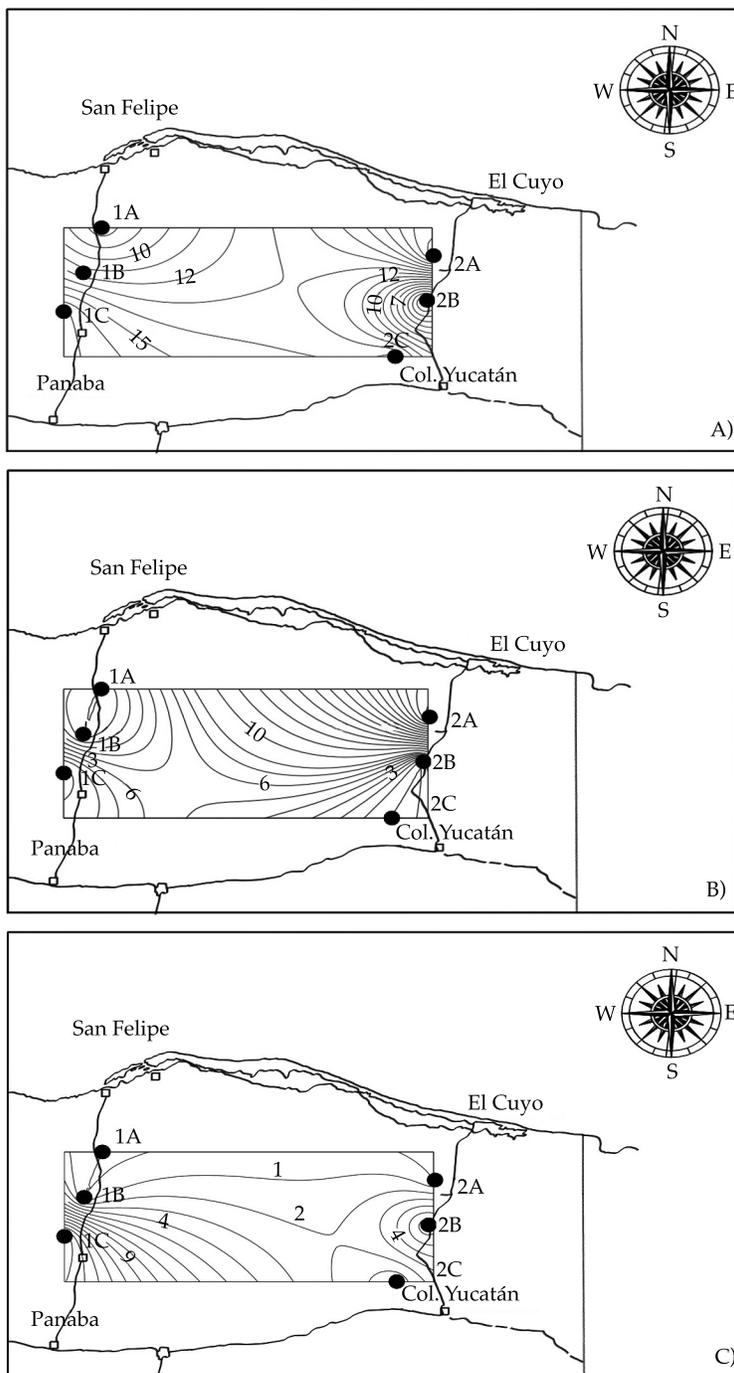


Figura 6. Isoconcentraciones de nitratos en mg/l: a) septiembre 2005, b) noviembre 2005 y c) enero 2006.

### Conclusiones

La dirección del flujo subterráneo en la zona costera nororiental de Yucatán es de sureste a

noroeste; no cambió de dirección por el paso del huracán *Wilma*.

La carga hidráulica se incrementó 1.5 m en algunos pozos, regresando a la posición

que tenía en enero 2006. Las mayores cargas hidráulicas se presentaron en el transecto El Cuyo-Colonia Yucatán, donde existen fracturas, fallas y conductos de disolución. A medida que los pozos se localizan lejos de la costa, la carga hidráulica se incrementa y la interfase salina se desplaza a grandes profundidades.

El techo de la intrusión salina en los pozos 1B y 2C fue desplazado hacia abajo 9 m, y en el pozo 1C se desplazó hacia abajo 1 m, regresando en enero 2006 a sus posiciones antes del huracán.

En el acuífero se presentó el efecto de dilución de los contaminantes presentes en la mayoría de los pozos, con excepción del pozo 2A, donde se incrementaron los nitratos debido a la infiltración de la materia orgánica acumulada por la inundación que sufrió el terreno en esa zona.

En general, el paso de los huracanes en Yucatán resulta favorecedor para el acuífero, debido a que lo recarga por el gran volumen de agua que se infiltra y por diluir la contaminación existente; aunque, en general, no es beneficioso para la población, por los daños que ocasiona en la infraestructura y salud de los habitantes.

## Agradecimientos

Al Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Yucatán por el apoyo del proyecto con clave YUC-2003-CO2-027, denominado "Caracterización de la dinámica de la interfase salina y de la calidad del agua en el acuífero costero del Estado de Yucatán", a la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Península de Yucatán, y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, por el apoyo para realizar este trabajo.

Recibido: 04/02/2011  
Aceptado: 05/11/2013

## Referencias

- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18 th edition. Washington, DC: American Public Health Association, 1992.
- BACK, W. and LESSER J.M. Chemical Constraints of Groundwater Management in the Yucatan Peninsula, Mexico. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. *Journal of Hydrology*. Vol. 51, 1981, 119-130.
- CARRILLO-CAUICH, M.E. *Estudio hidrogeológico de la costa nororiental de Yucatán*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, 2006.
- CNA. *Diagnóstico de la Región XII, Península de Yucatán*. Subdirección General de Programación, Gerencia de Planeación Hidráulica, Gerencia Regional de la Península de Yucatán, Mérida, Yucatán, 1997.
- CNA. *Datos climatológicos*. México, DF: Comisión Nacional del Agua, 2005.
- IMTA. *Definición de las reglas de operación del acuífero costero de la península de Yucatán*. Reporte técnico. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2003.
- LÓPEZ, G. y MENA, I. *Aspectos metodológicos en el estudio de la intrusión salina* [en línea]. 1988. Disponible en World Wide Web: [http://www.igme.es/internet/web\\_aguas/igme/publica/libro41/lib41.htm](http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/libro41/lib41.htm).
- SARH. *Sinopsis geohidrológica del estado de Yucatán*. México, DF: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Administrativo y Control de Sistemas Hidrológicos, 1989, 50 pp.
- TINAJERO, G.J., VELÁZQUEZ, A.L. y ZÚÑIGA, O.D. Hidrogeología e hidrogeoquímica regional de la península de Yucatán, México. Cap. II.2 del proyecto CPNH-IAS 8104. En *Estudio de las características geohidrológicas del acuífero en el área de Mérida Yucatán*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, 1981.
- VERA, I. *Estudio de la dinámica de la interfase salina y características físico-químicas del acuífero nororiental del estado de Yucatán*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, 2005, 85 pp.

## Dirección institucional de los autores

Dr. Eduardo Grael-Castro  
Ing. Jazmín Yam-Caamal

Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma de Yucatán  
Av. Industrias No Contaminantes por Anillo Periférico  
Norte s/n  
97310 Mérida, Yucatán, MÉXICO  
Teléfono: +52 (999) 9300 550, extensión 1028  
Fax: +52 (999) 9300 559  
graniel@uady.mx  
jaztere@hotmail.com

